R. MUSEO GEOLOGICO
PALAZZO CARIGNANO
TORINO

1°
E 6250

INSTITUT IMPÉRIAL DE FRANCE.

ACADÉMIE DES SCIENCES.

Extrait des *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, tome XLVI, séance du 21 juin 1858.

NOTE

Sur le Percement des Alpes entre Modane et Bardonèche;

PAR M. L.-F. MÉNABRÉA.

R. MUSEO MINERALOGICO
TORINO

« Le Piémont, séparé de la France par la haute chaîne des Alpes, sentait combien il importait à son avenir de franchir cette barrière par un chemin de fer; aussi les moyens de parvenir à ce but sont-ils depuis longtemps l'objet de ses plus sérieuses préoccupations.

» Les explorations faites depuis le Simplon jusqu'aux Apennins démontrent que le passage qui satisfait à la condition de la communication la plus directe avec la capitale de la France et qui en même temps présente le moins de difficulté, se trouve placé entre Bardonèche et Modane. En effet, vers ces deux localités, les vallées de l'Arc et de la Doire sont presque parallèles; l'une descend de l'est à l'ouest, tandis que l'autre a une pente en sens contraire, et les deux points où elles se trouvent de niveau correspondent à peu près à la partie la plus étroite de la chaîne des Alpes. Cette position importante, qui avait déjà été remarquée, il y a environ vingt ans, par M. Médoil, fut l'objet d'études suivies de la part des ingénieurs et des géologues. Le problème qu'on se proposait de résoudre n'était point de franchir les Alpes au moyen de mécanismes plus ou moins ingénieux, mais bien d'éviter *la gravité* qui, dans l'exploitation des chemins de fer, produit, pour *cinq*

2524.1

mètres d'élévation verticale, un travail résistant équivalent à celui que présente un kilomètre de route horizontale; on voulait, en un mot, faire disparaître les Alpes en les traversant par une galerie. Entre Modane et Bardonèche, l'épaisseur de la montagne est de 13 kilomètres environ. L'élévation de la cime ne permettait pas d'employer les puits pour entreprendre le tunnel sur plusieurs points, il ne restait donc qu'un moyen, celui de travailler seulement par les deux extrémités. Mais ici surgissaient plusieurs difficultés, d'abord celle du temps. En supposant même que cette opération eût été exécutable par les procédés ordinaires, il n'aurait pas fallu moins de 36 ans pour l'achever. L'aération soulevait de grands doutes. Le déblayement était une opération difficile; enfin on se préoccupait également beaucoup de la constitution géologique de la montagne, qui aurait pu opposer un obstacle presque insurmontable.

» MM. Élie de Beaumont et Angelo Sismonda ont étudié attentivement le terrain et ont signalé, entre Modane et Bardonèche, la distribution des roches suivantes : *grès micacé* mélangé avec des *schistes micacés; quartzite, gypse anhydre* intérieurement; *calcaire dolomitique,* enfin *calcaire cristallin schisteux* alternant avec le *schiste argilleux*. Le quartzite seul offre une grande résistance à la perforation; mais il ne semble pas que la couche qu'on doit traverser soit très-puissante; les autres roches peuvent être facilement attaquées par la mine. Ces indications ont été vérifiées par d'autres géologues et spécialement par M. Mortillet.

» Afin d'accélérer la perforation de la galerie, deux savants ingénieurs, MM. Mauss et Colladon, de Genève, imaginèrent, chacun de leur côté, des systèmes fort ingénieux. Mais un examen attentif laissant encore beaucoup de doute sur leur succès, on dut procéder à de nouvelles études à la suite desquelles trois ingénieurs sardes, MM. Sommeiller, Grattone et Grandis, combinèrent un système complet d'appareils, propres à pourvoir simultanément à la ventilation, à la perforation et au déblayement.

» La base de ce système est une nouvelle machine destinée à comprimer l'air et qui est désignée par ses auteurs sous le nom de *compresseur hydraulique*. Cet appareil est très-simple et consiste en un siphon renversé qui, d'un côté, est en communication avec une prise d'eau, et de l'autre avec un réservoir à air. L'eau descend dans la première branche du siphon, remonte dans la deuxième et y comprime l'air qui s'y trouve; cet air, lorsqu'il est arrivé à un degré suffisant de force élastique, ouvre une soupape qui l'introduit dans un réservoir. Alors la soupape de vidange s'ouvre, et lorsque l'eau de la deuxième branche du siphon est évacuée, le mouvement recom-

mence. Le mouvement des soupapes d'admission de l'eau et de vidange est réglé par une petite machine à colonne d'eau. L'air, dans le réservoir, est maintenu à une pression constante au moyen d'une colonne d'eau qui communique avec un réservoir supérieur. La force vive acquise par l'eau dans le siphon est utilisée pour opérer la condensation de l'air; ainsi avec une chute d'eau de 20 *mètres*, on a pu comprimer de l'air à six atmosphères, soit à près de 62 mètres d'eau de pression.

» L'air étant comprimé, on s'en sert comme force motrice, comme on le verra.

» Le Gouvernement sarde, avant d'entreprendre le percement des Alpes, voulut s'assurer que les nouveaux moyens proposés en assureraient le succès; il nomma, à cet effet, une Commission dont j'avais l'honneur de faire partie, et qui porta son examen sur tout le système et spécialement sur la ventilation qui était l'objet des doutes les plus sérieux.

» La Commission fit une série d'expériences avec un compresseur de la force d'environ quatre chevaux et demi effectifs.

» La chute était de 20 mètres environ, et la compression de l'air s'opérait à *six* atmosphères. La proportion du travail utile au travail théorique était de $0^{m},50$. Un examen attentif de la machine démontra qu'il serait facile d'atteindre la proportion de 60 pour 100. La machine marchait avec une régularité remarquable. On avait d'abord craint que l'air ne s'élevât à une haute température par l'effet de la compression; mais on remarqua qu'après avoir fait travailler la machine pendant longtemps, cette température ne dépassa jamais de plus de 30 degrés la température extérieure, résultat dû à ce que le piston qui opérait la compression était une colonne d'eau qui se renouvelait sans cesse.

» Les réservoirs, de la capacité de 8 mètres cubes, étaient formés de chaudières ordinaires à vapeur. Ils avaient été goudronnés intérieurement, ce qui les rendait parfaitement étanches.

» Après avoir expérimenté la machine, la Commission établit une série d'expériences sur le mouvement de l'air dans les tubes. A cet effet, on disposa des tubes du diamètre intérieur de 60 millimètres.

» Leur développement total était de 399 mètres, composés de :

Tubes en plomb.....	301	mètres de longueur
Tubes en caoutchouc revêtus extérieurement de toile.	98	»
Total.....	399	mètres de longueur.

Il y avait 18 diaphragmes qui restreignaient la section à 53 millimètres de

diamètre; les tubes formaient 76 spires de $1^{m},10$ environ de diamètre. On fit varier la section de l'orifice d'écoulement de $18^{mmq},13$ à $492^{mmq},84$.

» L'air dans le réservoir était maintenu à une pression constante par une colonne d'eau de 51 mètres de hauteur environ. Afin de mesurer la perte de pression qui avait lieu dans la conduite, on établit deux vases remplis de mercure communiquant l'un avec le réservoir à air, à l'origine de la conduite, l'autre avec l'extrémité de celle-ci. Deux tubes étaient adaptés verticalement, un à chacun de ces vases; leurs extrémités inférieures plongeaient dans le mercure qui s'élevait librement dans ces tubes dont les extrémités supérieures communiquaient avec l'atmosphère. Le résultat des expériences est consigné dans le tableau suivant :

SECTION de l'orifice.	VITESSE dans la conduite.	VITESSE à l'orifice de la conduite.	MANOMÈTRE à l'origine de la conduite.	PERTE de pression observée.
millimèt. carrés.	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.
18,13	1,012	149,0	0,3780	0,0039
63,43	3,197	144,2	0,3775	0,0502
63,43	3,604	160,6	0,3814	0.0609
63,43	4,106	183,0	0,3740	0,0608
81,56	4,415	150,9	0,3783	0,0683
179,07	10,157	160,4	0,3689	0,3910
312,59	15,100	136,6	0,3751	0,9030
492,56	16,460	105,9	0,3692	0,5560

» Toutes ces expériences sont représentées par une courbe de forme très-régulière. Les résultats qu'on en déduit s'éloignent notablement de ceux assez généralement admis d'après d'autres expériences assez incomplètes; ils se rapprochent, au contraire, de ceux auxquels ont été conduits MM. Poncelet et Pecqueur, dans des expériences qu'il est à regretter qu'on n'ait pas encore publiées.

» On peut donc déduire avec certitude des expériences que nous avons faites que, à la distance de 6500 mètres (moitié de la longueur de la galerie des Alpes), pour un tube de 10 centimètres de diamètre, avec une vitesse de 5 mètres à l'origine de la conduite, et une pression de 6 atmosphères dans le réservoir, la perte de pression ne serait que de $1\frac{1}{3}$ atmosphère : ce résultat, déduit d'expériences faites avec le plus grand soin et sur une vaste

échelle, suffit pour dissiper toutes les craintes que l'on aurait pu concevoir sur la possibilité de conduire de l'air dans le centre de la montagne.

» Après avoir établi ce fait important, la Commission s'est occupée de l'emploi de l'air comprimé comme force motrice. Elle a d'abord expérimenté sur un perforateur inventé par M. Bartlett, dans lequel on avait substitué l'air comprimé à la vapeur qui le faisait primitivement mouvoir. Le succès de la substitution de l'air à la vapeur fut complet.

» On essaya ensuite un autre perforateur très-simple et de peu de volume, inventé par M. Sommeiller; cette nouvelle machine réussit parfaitement. Ainsi la question de l'air comprimé comme force motrice est résolue.

» On a constaté un fait important dans la question dont il s'agit : c'est que, par l'effet de la dilatation rapide de l'air comprimé à 6 atmosphères lorsqu'il sort de la machine, l'eau située à proximité de la machine se congelait, quoique la température extérieure fût moyennement de 18 degrés. Ainsi, en lançant une grande masse d'air comprimé au fond d'une galerie qui se trouverait à 1600 mètres au-dessous de l'enveloppe extérieure du globe et où, par conséquent, par l'effet de la chaleur centrale, la température s'élèverait à 50 degrés environ, on obtiendrait un abaissement de température considérable par l'effet même de la dilatation de l'air.

» Avec les perforateurs à air, on a pratiqué des trous de mine dans des roches de diverses espèces, depuis les calcaires tendres jusqu'aux *siénites* les plus dures, et il a été constaté qu'en employant cet appareil, on faisait moyennement un trou de mine *douze fois* plus vite qu'avec les moyens ordinaires actuellement en usage. Pour apprécier l'importance de ce résultat, il suffit d'observer que, dans la formation des galeries de mines, les *trois quarts* du temps total sont employés pour faire les *seuls trous de mines;* l'autre *quart* suffit pour charger les mines, en déterminer l'explosion et pour déblayer.

» Si donc, par le moyen des nouveaux appareils, on diminue dans une proportion si considérable la portion principale du temps employé ordinairement à la formation des galeries des mines, il est évident que l'on aura résolu la partie la plus importante du problème du percement des Alpes, celui de l'accélération du travail.

» Mais il y a plus : les nouveaux perforateurs occupent peu d'espace; là où trois couples de mineurs à peine peuvent travailler, on peut placer jusqu'à dix-huit perforateurs, ce qui sera un nouvel élément pour rendre le travail plus rapide.

» La petite galerie sera de section rectangulaire de $2^{m},50$ de côté.

» Afin de rendre les déblais plus faciles, on a imaginé un système d'ap-

pareils très-simples; d'un autre côté, pour faciliter les manœuvres et pour éviter les dangers que présenterait une galerie de petite section, l'on formera simultanément la galerie à grande section qui suivra celle à petite section à la distance d'environ 200 mètres.

» D'après les données précédentes, les auteurs du projet espèrent dans *six ans* avoir terminé la galerie des Alpes. Ils évaluent à 3 mètres par jour l'avancement de chaque côté de la montagne, c'est-à-dire à 6 mètres par jour en total, tandis que, par les moyens ordinaires, l'avancement de chaque galerie ne dépasserait pas $0^m,45$ à $0^m,50$ par jour, et en total $0^m,90$ à 1 mètre.

» Après avoir exposé l'ensemble du système proposé et les expériences qui ont été faites pour s'assurer de son efficacité, je résumerai les données principales relatives à la galerie. Sa longueur totale est de 12 500 mètres, comme il a été dit. Elle est tracée dans un même plan vertical; mais elle se divise en deux pentes vers les deux orifices, afin de faciliter l'écoulement des eaux que l'on pourrait rencontrer. L'orifice méridional de la galerie vers Bardonèche est à la cote de 1324 mètres au-dessus du niveau de la mer. A partir de ce point la galerie s'élève avec une pente moyenne de 5 pour 1000 sur une distance de 6250 mètres jusqu'à la cote 1335 mètres qui est le point culminant; de là elle descend sur une longueur pareille de 6250 mètres avec une pente moyenne de 23 pour 1000 jusqu'à l'orifice septentrional vers Modane qui est à la cote 1190 mètres. La crête de la montagne se trouve au-dessus du point culminant à une élévation verticale de 1600 mètres environ.

» On a calculé que, pour l'aération nécessaire au renouvellement de l'air vicié par la respiration, par les lumières et par la poudre employée pour les mines, il fallait dans chacun des deux troncs de galerie 85 924 mètres cubes d'air par 24 heures à la pression atmosphérique, soit 14320 mètres cubes à la pression de six atmosphères.

» La quantité d'air nécessaire pour faire mouvoir les perforateurs n'est que de 667 mètres cubes à six atmosphères de pression. Ainsi l'air comprimé, après avoir agi comme force motrice, contribuera en partie à l'aération. Du côté de Bardonèche il existe plusieurs torrents qui ne tarissent jamais et dont la chute est capable de comprimer au moins 98 064 mètres cubes d'air par jour et de les réduire à la pression de six atmosphères.

» Du côté de Modane on a l'Arc, torrent rapide et dont la partie considérable fournit une force qui dépasse de beaucoup celle requise. Toutes les conditions se trouvent donc réunies pour assurer le succès de l'entreprise.

Lorsque cette grande œuvre sera achevée, on pourra dire qu'il n'y a plus d'Alpes : il sera facile de se rendre de Paris à Turin en 22 heures et de Paris à Milan en 27 heures.

» Tel est le résultat auquel le Gouvernement sarde a l'espoir fondé d'arriver à une époque peu éloignée ; les sacrifices qu'il s'impose, dans ce but, ne sont pas au-dessous de la grandeur de l'entreprise. Le percement des Alpes est en corrélation avec le canal de l'isthme de Suez, qui se fera nécessairement malgré les obstacles qui s'y opposent. Par ces deux grandes opérations, un nouvel avenir s'ouvre à l'Europe. D'après ce que j'ai exposé, on a pu se convaincre que le Gouvernement sarde n'a mis la main à cette grande œuvre qu'après de longues et sérieuses études, et qu'il a voulu auparavant s'entourer de toutes les lumières que pouvaient lui fournir la science et la pratique la plus consommée. »

PARIS. — IMPRIMERIE DE MALLET-BACHELIER,
rue du Jardinet, 12.